

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 199 18 697 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
G 01 R 35/00
G 01 R 27/28

21 Aktenzeichen: 199 18 697.9
22 Anmeldetag: 26. 4. 99
43 Offenlegungstag: 18. 11. 99

DE 199 18 697 A 1

68 Innere Priorität:
198 18 878. 1 28. 04. 98

71 Anmelder:
Heuermann, Holger, Dr., 83607 Holzkirchen, DE;
Fabry, Hans-Joachim, 12167 Berlin, DE; Ballmann,
Ralf, Dipl.-Ing., 91080 Marloffstein, DE

74 Vertreter:
Hafner und Kollegen, 90482 Nürnberg

72 Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Kalibrierverfahren zur Durchführung von Mehrformmessungen basierend auf dem 10-Term-Verfahren

57 Dargestellt wird ein neues Verfahren zur Kalibrierung von Netzwerkanalysatoren. Dieses 10-Term-Multiportverfahren kann mit allen Zweiter-Kalibrierverfahren nach der 10-Term-Technik arbeiten. Für die i.d.R. benötigten Kalibriermessungen (Anzahl errechnet sich aus der Summe von $n-i$ ($i = 1, 2, \dots, n-1$)) genügt es, wenn man über die üblichen Standards des TMSO-Verfahrens verfügt. Hierbei steht T für eine Durchverbindung und M für eine bekannte Impedanz. Mit S bezeichnet man einen Kurzschluß und mit O einen Leerlaufstandard. Dieses Kalibrierverfahren benötigt einen Netzwerkanalysator mit $n + 1$ Meßstellen und ist auch in Analysatoren mit mehr Meßstellen anwendbar. Mit diesem Verfahren können von Systemfehlern (wie Übersprecher, Fehlanpassungen) befreite Messungen sowohl in koaxialen als auch auf Halbleitersubstraten (on-wafer) durchgeführt werden. Dieses Kalibrierverfahren bietet ganz neue Perspektiven bei der Vermessung von großen Mehrtoren (größer drei), da es sehr geringe Anforderungen an die Hardware des Netzwerkanalysators stellt.

DE 199 18 697 A 1

DE 199 18 697 A 1

Beschreibung

Stand der Technik

5 Mittels Netzwerkanalysatoren (NWA) werden Ein- und Zweitorparameter von elektronischen Halbleiterbauelementen bis hin zu Antennen vermessen. Die Meßgenauigkeit von NWA läßt sich mittels einer Systemfehlerkorrektur erheblich verbessern.

Bei der Systemfehlerkorrektur werden innerhalb des Kalibriervorganges Meßobjekte, die teilweise oder ganz bekannt sind, vermessen ([3,4]).

10 Aus diesen Meßwerten erhält man über spezielle Rechenverfahren Korrekturdaten. Mit diesen Korrekturdaten und einer entsprechenden Korrekturrechnung bekommt man für jedes beliebige Meßobjekt Meßwerte, die von Systemfehlern (Verkopplungen, Fehlanpassungen) befreit sind.

Die in der Hochfrequenztechnik übliche Beschreibungsform des elektrischen Verhaltens von Schaltungen erfolgt über die Streuparameter. Sie verknüpfen nicht Ströme und Spannungen, sondern Wellengrößen miteinander. Diese Darstellung ist den physikalischen Gegebenheiten besonders angepaßt.

15 Bild 1 zeigt ein Zweitor, das durch seine Streumatrix [S] gekennzeichnet sei. Die Wellen a_1 und a_2 seien die auf das Zweitor zulaufenden Wellen, b_1 und b_2 entsprechend die in umgekehrter Richtung sich fortpflanzenden Wellen. Es gilt die Beziehung:

$$20 \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix}}_{=[S]} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

25 Ein bekanntes Kalibrierverfahren für ein Zweitormodell mit 10 bzw. 12 Fehlergrößen ist das sogenannte 10-Term- bzw. 12-Term-Verfahren [7,2]. Es ist das einzige Systemkalibrierverfahren für Netzwerkanalysatoren mit lediglich drei Meßstellen. Bei dem meist eingesetzten TMSO-Kalibrierverfahren müssen zunächst die beiden Meßtore verbunden werden (T = Thru). Danach muß man an jedem Meßtore drei bekannte Eintore, z. B. Wellensumpf (M = Match), Kurzschluß (S = Short) und Leerlauf (O = Open) vermessen.

30 Das Mehrtor-Meßproblem besteht darin, daß alle Tore des Meßobjektes miteinander verknüpft sind. Man erhält somit nicht mehr an einer Meßstelle ein Maß für die hinlaufende, an der nächsten ein Maß für die reflektierte und letztlich an einer weiteren ein Maß für transmittierte Welle, das von den Abschlüssen des Mehrtores unabhängig ist.

Das allgemeine Problem von n-Toren wird der Übersicht halber oft auf 3 Tore reduziert, so wie es auch in Bild 2 dargestellt ist. DUT steht für die englische Bezeichnung des Meßobjektes (device under test).

35 Für dieses Fehlermodell ist den Erfindern keine andere Lösung bekannt. Die einzige den Erfindern bekannte Lösung des Mehrtormeßproblems (Ferrero, [5,6]) benötigt einen NWA mit $2n$ anstatt $n+1$ Meßstellen bei dem gleichen Aufwand an Kalibrierstandards. Demzufolge sind die Anforderungen an die Hardware im Gegensatz zu dem hier vorgeschlagenen Lösungsweg deutlich aufwendiger. Ebenfalls müssen bei dem Verfahren von Ferrero sämtliche Kalibrierstandards vollständig bekannt sein. Desweiteren basiert das Ferrero-Verfahren auf dem 7-Term-Prinzip, was deutliche Meßfehler zur Folge hat, da vollständig bekannte Standards nicht perfekt realisierbar sind und das 7-Term-Prinzip merklich empfindlicher auf derartige Modellfehler reagiert, als das hier eingesetzte 10-Term Verfahren ([7]).

40 Ein weiteres Verfahren wird in der amerikanischen Patentschrift US 5 578 932 beschrieben. Die Patentschrift beschreibt im einzelnen ein Testset, mit dem ein 2-Tor Netzwerkanalysator auf n Tore erweitert werden kann. Weiterhin wird eine spezielle Kalibriereinrichtung beschrieben, die für die Kalibrierung dieses Testsets benötigt wird. Die Kalibriereinrichtung enthält neben den Standards Open, Short und Termination eine Anordnung verschiedener Transmissionsleitungen, die über Halbleiterschalter zwischen die Anschlüsse der Kalibriereinrichtung geschaltet werden können. Im Gegensatz zur Aussage im Abstract findet jedoch keine vollständige Mehrortokalibrierung und -fehlerkorrektur statt. Stattdessen werden nur 2-Tor Pfade kalibriert, die restlichen Tore werden nicht berücksichtigt (Spalte 18, Zeile 57). Im späteren Meßbetrieb werden nacheinander 2-Tor-Messungen durchgeführt. Dabei werden die in der Kalibrierung nicht eingeschlossenen Meßtore nacheinander durch innerhalb des Testsets eingebaute unterschiedliche Reflektionsstandards abgeschlossen. Für jeden Wert des Reflektionsstandards wird genau eine 2-Tor-Messung durchgeführt (Spalte 21, Zeile 1). Nachdem die Messungen an allen Meßtoren durchgeführt wurden, kann aus den erhaltenen Meßwerten und den bekannten Werten der Reflektionsstandards ein um die systematischen Fehler korrigiertes Ergebnis berechnet werden. Für die Vermessung eines 3-Tor-Prüfobjektes sind laut Patentschrift 2 2-Tor-Messungen von Tor 1 nach Tor 2 und Tor 1 nach Tor 3 notwendig (Spalte 21, Zeile 1 und Zeile 45), wobei zur vollständigen Charakterisierung aller Parameter das nicht eingeschlossene dritte Tor des Prüfobjektes bei der Messung von Tor 1 nach Tor 2 durch mindestens 3 unterschiedliche Reflektionsstandards abgeschlossen werden muß (Spalte 21, Zeile 28). Dies bedeutet, daß zur vollständigen Charakterisierung eines 3-Tores $3 + 1 = 4$ 2-Tor Messungen erforderlich sind, während das hier vorgestellte Verfahren mit 3 2-Tor Messungen auskommt.

Erzielbare Vorteile

65 Mit der im Anspruch 1 angegebenen Erfindung ist das Problem eines geschlossenen, prinzipiell exakten und somit für die Praxis robusten Verfahrens für die Ermittlung der Korrekturkoeffizienten für das Mehrtormodell für n Meßtore und $n+1$ Meßstellen gelöst.

Somit können beispielsweise mit den weit verbreiteten NWA mit vier Meßstellen Dreitormessungen durchgeführt werden. Die erforderlichen Rechenzeiten sind dabei vernachlässigbar.

DE 199 18 697 A 1

Gegenüber dem Verfahren von Ferrero benötigt man bei diesen 10-Term-Mehrtorverfahren für den Dreitorfall sechs (z. B.: T1, T2, T3, M, S und O; Tab. 1) bzw. fünf Messungen (Tab. 2) mit Mehrfachkontaktierung der Eintorstandards anstatt fünf (T1, T2, M, S und O) bekannte Hochfrequenz(HF)-Kalibrierstandards, bei denen die Eintorstandards nur einmalig angeschlossen werden. Zwar sind Mehrtorverfahren, die auf den 7-Term-Verfahren beruhen ([8]), bezüglich den Ansprüchen an den Kalibrierstandards ausakutiver, jedoch benötigt man weiterhin für die 10-Term-Mehrtorverfahren keinen Kalibrierstandard, der nicht schon für das 10-Term-Zweitortverfahren (oft auch als 12-Term-, TMSO, LMSO oder SOLT-Verfahren bezeichnet) vonnöten war. Darüberhinaus wurde bereits in [7] gezeigt, daß man für jedes Kalibrierverfahren mindestens einen Selbstkalibrierstandard finden kann. Deshalb sind Selbstkalibrierstandards auch für das 10-Term-Mehrtorverfahren möglich.

Bei den 7-Term-Mehrtorverfahren ([8]) sind für eine Dreitormessung mindestens vier Kalibriermessungen notwendig. Demgegenüber sind bei dieser Erfindung mindestens fünf Kalibriermessungen notwendig, um ein Dreimeßstellengerät unter Berücksichtigung sämtlicher Übersprecher der Meßobjekte zu kalibrieren.

Bei dem 10-Term-Mehrtorverfahren stehen bei der Wahl der fünf oder sechs Kalibrierstandardkombinationen eine Vielzahl von Alternativen in der Reihenfolge der Kontaktierung der Eintore zur Auswahl (Tabelle 1, 2). Jedoch ist vorgegeben, daß man von jedem Meßtor aus mittels einer bekannten Zweitortverbindung (i.d.R. eine Durchverbindung T) im n-Tor-Fall die weiteren Tore einmal verbinden muß. Desweiteren muß an jedem Tor ein bekannter Impedanzabschluß (z. B. ein Wellensumpf M), ein bekannter Kurzschluß und ein bekannter Leerlauf angeschlossen werden. Variante 1 der Tabelle 1 bietet sich dadurch an, da Zuordnungsfehler nicht so einfach möglich sind, und Variante 2 der Tabelle 2 zeigt auf, daß auch bei einer n-Tor Multiportkalibrierung nicht mehr Standards als im Zweitortfall notwendig sind. Desweiteren läßt sich durch eine derartig geschickte Verteilung der Kalibrierstandards eine Dreitorkalibriermessung einsparen. Weiterhin liefert die Variante 2 mit Sicherheit die homogenen Meßresultate, da keine unterschiedlichen Wellensümpfe und Reflexionsstandards eingesetzt werden müssen.

Im Gegensatz zur im US Patent 5 578 932 vorgeschlagenen Lösung wird für die Kalibrierung des 10-Term-Mehrtorverfahrens keine spezielle Kalibriereinrichtung (MSLT) benötigt, es können die meistens vorhandenen bekannten Kalibrierstandards des 10- oder 12-Term 2-Tor-Verfahrens benutzt werden. Diese Standards können im Gegensatz zur Kalibriereinrichtung, die intern fehlerbehaftete Schalter zur Umschaltung der internen Standards benutzt, auf physikalische Standards zurückgeführt und damit zertifiziert werden.

Weitere Ausgestaltung der Erfindung

Die vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung vom Hauptanspruch 1 sind in den Nebenansprüchen 2 bis 8 dargestellt.

Dem Hauptanspruch 1 ist hinzuzufügen, daß beim Einsatz von Transfer- oder Kalibrierstandards auch Elemente aus konzentrischen Bauelementen verwendet werden können.

Der zweite Nebenanspruch verdeutlicht den Einsatz des in der Praxis sehr sinnvollen TMSO-Kalibrierverfahrens, da derartige Kalibrierstandards wohl etabliert sind. In der Tabelle 1 ist eine mögliche Variante der Kontaktierungsreihenfolge aufgelistet, die im Dreitorfall sechs Kalibriermessungen erfordert. Schließt man sämtliche Standards nacheinander an, so kann man die Anzahl der Kalibriermessungen erhöhen. Die Datenmengen können trotzdem klein gehalten werden, da nur Zwei- und Eintormessungen in einem solchen Fall notwendig sind. Desweiteren soll der Anspruch auch zulassen, daß die drei Eintore M, S und O jeweils in den Schritten 4-6 gleichzeitig angeschlossen werden und bei jedem Schritt rotieren.

Der dritte Nebenanspruch verdeutlicht einen anderen Einsatz des TMSO-Kalibrierverfahrens, da derartige Kalibrierstandards wohl etabliert sind. In der Tabelle 2 ist eine mögliche Variante der Kontaktierungsreihenfolge aufgelistet, die im dargestellten Dreitorfall nur fünf Kalibriermessungen erfordert.

Der vierte Nebenanspruch beschreibt ebenfalls ausführlich, wie eine 10-Term-Mehrtorkalibrierung, die das TLSO-Verfahren einsetzt, auszusehen hat.

Der fünfte Nebenanspruch verdeutlicht wie minderwertige Standards als Präzisionsstandards eingesetzt werden können bzw. wie eine vollautomatisierbare Mehrtorkalibrierung ([1]) basierend auf diesem 10-Term-Verfahren umsetzbar ist.

Der sechste Nebenanspruch beschreibt ebenfalls wie minderwertige Standards als Präzisionsstandards eingesetzt werden können bzw. wie eine vollautomatisierbare Mehrtorkalibrierung basierend auf diesem 10-Term-Verfahren umsetzbar ist. Im Gegensatz zu der unter dem fünften Anspruch aufgelisteten Verfahren, sind bei dieser Umsetzung die Standards gemischt, was Zuordnungsfehler hervorrufen kann, aber weniger Kalibriermessungen benötigt.

Der siebte Nebenanspruch beschreibt den der Kalibrierung folgenden Meßbetrieb, bei dem eine minimale Anzahl von Messungen ausreicht, um alle Streuparameter des unbekannten n-Tores vollständig zu ermitteln und eine Systemfehlerkorrektur für alle Streuparameter durchzuführen.

Der achte Nebenanspruch beschreibt den Fall, daß anstatt eines Netzwerkanalysators mit n+1 Meßstellen ein vorhandener 2-Tor-Analysator über eine vorgeschaltete Umschaltvorrichtung auf n Meßtore erweitert wird. Dieses Verfahren bietet aufgrund der zeitvarianten Fehlereinflüsse der Umschaltvorrichtung durch Drift elektronischer Schalter oder Widerbolgenauigkeit mechanischer Schalter eine geringere Genauigkeit als die Verwendung eines Netzwerkanalysators mit n+1 Meßstellen. Diese Fehlereinflüsse können zwar während der Kalibrierung erfaßt werden, Änderungen der Schalterparameter nach der Kalibrierung werden jedoch nicht mehr erfaßt und gehen voll in das Meßergebnis ein. Trotzdem kann dieses Verfahren bei eingeschränkten Genauigkeitsanforderungen eine preiswerte Lösung darstellen, da schon vorhandene 2-Tor-Analysatoren weiter genutzt werden können (siehe beigefügtes Schaltbild der Umschaltvorrichtung, Bild 4).

Als Blockschaltbild ist der interessante Sonderfall eines 3-Tor Mehrtornetzwerkanalysesystems im Bild 2 illustriert. Das Bild 2 zeigt auf, wie ein derartiger Aufbau zu realisieren ist und dient als Grundlage für eine sowohl erklärende und eine mathematische Beschreibung.

Im Bild 2 wird dargestellt, wie das Signal einer Quelle 17, von dem ein Maß für die hinlaufende Welle abgezweigt

DE 199 18 697 A 1

wird (Meßwerte: m_1, m_2, m_3), über einen Umschalter 16, dessen Eigenschaften Reproduzierbarkeit und Langzeitstabilität in die Meßgenauigkeit eingeht, auf die drei Zweige 18, 19 und 20 geleitet wird. Die als ideal angenommenen Meßstellen 15 nehmen ein Maß für die reflektierte bzw. transmittierte Welle auf. Sämtliche linearen Fehler der Hardware werden in den Fehlermatrizen 13, 14a und 14b zusammengefaßt. An den Toren 10, 11 und 12 ist das Meßobjekt 21 (DUT) mit dem Netzwerkanalysator verbunden.

Ein sehr interessanter Fall ist die Vermessung von Dreitoren, da hierfür nur ein relativ leicht verfügbarer NWA mit vier Meßstellen notwendig ist. Wie ein derartiger NWA zu einem Mehrtor-NWA umgerüstet werden kann zeigt Bild 3.

Beschreibung der 10-Term Mehrtorverfahren

Die Ausgangsbasis für die mathematische Beschreibung der 10-Term Mehrtorverfahren (oft auch Multiportverfahren genannt) bildet das Fehlermodell im Bild 2. Der Einfachheit halber wollen wir die mathematische Herleitung nur für den in der Praxis interessantesten Fall, der Vermessung von Dreitoren, durchführen. Die Verallgemeinerung dieses Vorgehensweise zu n-Toren kann auf einfache Art und Weise durchgeführt werden, indem man einen Umschalter mit n Ausgangsporten vorsieht und für jedes weitere Tor des Meßobjektes eine zusätzliche Meßstelle berücksichtigt.

Zur Ermittlung der klassischen Fehlermatrizen des 10-Term Modells wird eine Zweitorkalibrierung zwischen jeder Meßstorkombination mit den Fehlermatrizen [E], [F] und [G] durchgeführt. Für die Schalterstellung I ist die Fehlermatrix [E] das Referenztor, das drei Fehlergrößen enthält, für II ist es [F] und für III [G]. Die für jede Schalterstellung zwei anderen Meßtore enthalten nur die zwei Fehlergrößen (z. B.: F_1, F_2) des Transmissionsfehlernetzwerkes. Die zugehörigen Größen sollen im weiteren abhängig von der Schalterstellung einfach, zweifach und dreifach gestrichen werden. Für den Dreitorfall ergeben sich somit $3 \cdot 3 + 3 \cdot 2 \cdot 2 = 21$ Fehlergrößen.

Die Korrekturrechnung unter Verwendung der 21 Fehlergrößen der den Meßwerten des Meßobjektes (m_i) läßt sich wie folgt ansetzen:

$$\begin{pmatrix} m'_2 \\ a'_1 \end{pmatrix} = [E'] \begin{pmatrix} m'_1 \\ b'_1 \end{pmatrix}, \quad b'_2 = m'_4 / F'_T, \quad (2)$$

$$a'_2 = F'_L * b'_2, \quad b'_3 = m'_6 / G'_T, \quad a'_3 = G'_T * b'_3. \quad (3)$$

Nach Umstellung erhält man 6 Gleichungen für die 6 Wellengrößen $a'_1, a'_2, a'_3, b'_1, b'_2, b'_3$. Genauso verfährt man für die übrigen Schalterstellungen. Diese $3 \cdot 6$ Gleichungen lassen sich in der Gleichung

$$\begin{pmatrix} b'_1 \\ b'_2 \\ b'_3 \end{pmatrix} = [Sx] \begin{pmatrix} a'_1 \\ a'_2 \\ a'_3 \end{pmatrix} \quad (4)$$

einsetzen. Hierbei bekommt man für jede Schalterstellung die Werte einer Matrixspalte, was letztlich zu einem linearen Gleichungssystem bestehend aus zwei $n \cdot n$ Meßwertmatrizen und der $n \cdot n$ Streumatrix führt. Löst man dieses Gleichungssystem nach der [Sx]-Matrix auf, so stehen einem die fehlerkorrigierten Streuparameter eines n-Tores zur Verfügung.

Literatur

- [1] Engen, G. F., ECal: An Electronic Calibration System, Microwave Journal, Sep. 1993, pp. 152-157
- [2] Hewlett Packard, Automating the HP 8410B Microwave Network Analyzer, Application Note 221A, Jun. 1980
- [3] Eul, H. J., Schiek, B., A Generalized Theory and New Calibration Procedures for Network Analyzer Self-Calibration, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, MTT-39, March 1991, pp. 724-731
- [4] Eul, H. J., Methoden zur Kalibrierung von heterodynem und homodynem Netzwerkanalysatoren, Dissertationsschrift, Institut für Hoch- und Höchstfrequenztechnik, Ruhr-Universität Bochum, 1990
- [5] Ferrero, A., Pisani, U., QSOIT: A New Calibration Algorithm for Two Port S-Parameter Measurements, 3Bch ARFTG Conf. Dig., San Diego, Dec. 1991, 5-6
- [6] Ferrero, A., Pisani, U., Kerwin, K. J., A New Implementation of a Multiport Automatic Network Analyzer, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 40, Nov. 1992, pp. 2078-2085
- [7] Heuermann, H., Sichere Verfahren zur Kalibrierung von Netzwerkanalysatoren für koaxiale und planare Leitungssysteme, Dissertationsschrift, Institut für Hochfrequenztechnik, Ruhr-Universität Bochum, 1995, ISBN 3-8265-1495-5
- [8] Heuermann, H., Fabry, J., Bellmann, R., Kalibrierverfahren zur Durchführung von Mehrtermessungen basierend auf den 7-Term-Verfahren, beiliegend
- [9] Adamian, V., Method and apparatus for providing and calibrating a multiport network analyzer, US Patent 5 578 932

DE 199 18 697 A 1

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren eines n Meßstore und mindestens $n+1$ Meßstellen aufweisenden vektoriellen Netzwerkanalysators durch aufeinanderfolgende Messung der Reflexions- und Transmissionsparameter an der n -fachen Summe (k) aus $n-i$ ($i = 1, 2, \dots, n-1$) verschiedenen zwischen den Meßstoren in beliebiger Reihenfolge geschalteten Kalibrierstandards, die ein Transmissionspfad aufweisen müssen, und mindestens 2 verschiedenen zwischen den Meßstoren in beliebiger Reihenfolge geschalteten n -fachen Kalibrierstandards, die keine Transmission aufweisen müssen, dadurch gekennzeichnet, daß
 - (a) alle Kalibrierstandards aus vollständig bekannten n -Toren, im einfachsten Falle n -fachen Eintoren (n -Tor bestehend aus n Eintoren), bestehen müssen.
 - (b) mindestens ein Signalpfad endlicher Transmissionsdämpfung als Kalibrierstandard zwischen jeder Meßstorkombination geschaltet werden muß.
2. Verfahren nach Anspruch 1 im Einsatz mit vorhandenen koaxialen oder planaren Kalibrierstandards, dadurch gekennzeichnet, daß
 - (a) die ersten k Kalibriermessungen an einem Zweitor, das mittels der direkten Verbindung der Meßstore (Durchverbindung, $T = \text{Thru}$) oder einer kurzen angepaßten Leitung ($L = \text{Line}$) bekannter Länge und Dämpfung realisiert ist, und das zwischen jeder möglichen Meßstorkombination (k) angeschlossen wird, durchgeführt werden.
 - (b) eine weitere Kalibriermessung an einem n -Eintor, das mittels n bekannter Impedanzen (z. B. Wellenabschlüsse mit 50Ω , $M = \text{Match}$) realisiert ist, durchgeführt wird.
 - (c) eine weitere Kalibriermessung an einem n -Eintor, das mittels n bekannter Kurzschlüsse ($S = \text{Short}$) realisiert ist, durchgeführt wird.
 - (d) eine weitere Kalibriermessung an einem n -Eintor, das mittels n bekannter Leerläufe ($O = \text{Open}$) realisiert ist, durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 im Einsatz mit vorhandenen koaxialen oder planaren Kalibrierstandards, dadurch gekennzeichnet, daß
 - (a) die ersten k Kalibriermessungen an einem oder mehreren Zweitoren, die mittels der direkten Verbindung der Meßstore (Durchverbindung, $T = \text{Thru}$) oder einer kurzen angepaßten Leitung ($L = \text{Line}$) bekannter Transmission realisiert sind und die zwischen jeder möglichen Meßstorkombination (k) angeschlossen werden und gleichzeitig an den bekannten Eintoren (M , S oder O), die an den verbleibenden Meßstoren angeschlossen werden, durchgeführt werden.
 - (b) weitere Kalibriermessung an einem n -Eintor, das mittels n bekannter Eintorabschlüssen (M , S oder O) realisiert ist, durchgeführt wird.
 - (c) eine weitere Kalibriermessung an einem n -Eintor, das mittels n bekannter Eintorabschlüssen (M , S oder O) realisiert ist, durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche im Einsatz mit vorhandenen koaxialen oder planaren Kalibrierstandards, dadurch gekennzeichnet, daß
 - (a) die ersten k Kalibriermessungen an einem Zweitor, das mittels der direkten Verbindung der Meßstore (Durchverbindung, $T = \text{Thru}$) oder einer kurzen angepaßten Leitung bekannter Länge ($L = \text{Line}$) und bekannten Transmissionseigenschaften realisiert ist und das zwischen jeder möglichen Meßstorkombination (k) angeschlossen wird, durchgeführt werden.
 - (b) die weiteren $n-1$ Kalibriermessungen an einem Zweitor, das mittels einer kurzen angepaßten Leitung bekannter Länge ($L = \text{Line}$) und bekannten Transmissionseigenschaften realisiert ist, und das an jedem Meßstor einmellig angeschlossen wird, durchgeführt werden.
 - (c) eine weitere Kalibriermessung an einem n -Eintor, das mittels n bekannter Kurzschlüsse ($S = \text{Short}$) realisiert ist, durchgeführt wird.
 - (d) eine weitere Kalibriermessung an einem n -Eintor, das mittels n bekannter Leerläufe ($O = \text{Open}$) realisiert ist, durchgeführt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche im Einsatz mit vereinfachten koaxialen oder planaren Kalibrierstandards, dadurch gekennzeichnet, daß
 - (a) die ersten k Kalibriermessungen an einem Zweitor, dessen elektrisches Verhalten vermessen und abgespeichert wurde und das zwischen jeder möglichen Meßstorkombination (k) angeschlossen wird, durchgeführt werden.
 - (b) eine weitere Kalibriermessung an einem n -Tor, dessen elektrisches Verhalten vermessen und abgespeichert wurde und dessen Eingangsimpedanzen (an den n Toren) in der Nähe der Systemimpedanz (z. B. n einfache Wellenabschlüsse mit ungefähr 50Ω) sind, durchgeführt wird.
 - (c) eine weitere Kalibriermessung an einem n -Tor, dessen elektrisches Verhalten vermessen und abgespeichert wurde und dessen Eingangsimpedanzen in der Nähe eines Kurzschlusses liegen, durchgeführt wird.
 - (d) eine weitere Kalibriermessung an einem n -Tor, dessen elektrisches Verhalten vermessen und abgespeichert wurde und dessen Eingangsimpedanzen in der Nähe eines Leerlaufes liegen, durchgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche im Einsatz mit vereinfachten koaxialen oder planaren Kalibrierstandards, dadurch gekennzeichnet, daß
 - (a) die ersten k Kalibriermessungen an einem n -Tor, dessen elektrisches Verhalten vermessen und abgespeichert wurde, dessen Eingangsimpedanzen (an den n Toren) in der Nähe der Systemimpedanz eines Kurzschlusses und eines Leerlaufes liegen und das zwischen jeder möglichen Meßstorkombination (k) mindestens ein Signalpfadverbindung herstellt, durchgeführt werden.
 - (b) eine weitere Kalibriermessung an einem n -Tor, dessen elektrisches Verhalten vermessen und abgespeichert wurde und dessen Eingangsimpedanzen (an den n Toren) in der Nähe der Systemimpedanz, eines Kurzschlusses

DE 199 18 697 A 1

ses und eines Leerlaufes liegen, durchgeführt wird.

(e) eine weitere Kalibrierung an einem n-Tor, dessen elektrisches Verhalten vermessen und abgespeichert wurde und dessen Eingangsimpedanzen (an den n Toren) in der Nähe der Systemimpedanz, eines Kurzschlusses und eines Leerlaufes liegen, aber unterschiedlich zum vorherigen Kalibrierstandard angeordnet sind, durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß

(a) in der Kalibrierung folgenden Meßbetrieb jeder Transmissionspfad des unbekannten n-Tors in beiden Richtungen genau einmal vermessen wird.

(b) in der Kalibrierung folgenden Meßbetrieb die Reflektionseigenschaften des unbekannten n-Tors an jedem Tor genau einmal vermessen wird.

(c) mithilfe Meßwerte und der bei den vorhergehenden Kalibriermessungen ermittelten Fehlerterme der Meßwerte alle Streuparameter des unbekannten n-Tors fehlerkorrigiert berechnet werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß anstatt eines Netzwerkanalysators mit n+1 Meßstellen ein 2-Tor-Netzwerkanalysator verwendet wird, dessen zwei Meßports über eine externe Umschaltvorrichtung auf n Meßports erweitert wird (siehe beigefügtes Schaltbild der Umschaltvorrichtung).

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:
Int. Cl.⁶:
Offenlegungstag:

DE 199 18 697 A1
G 01 R 35/00
18. November 1999

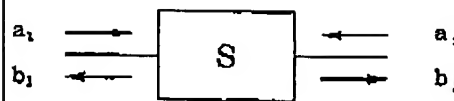


Bild 1: Zur Erläuterung der Streumatrix

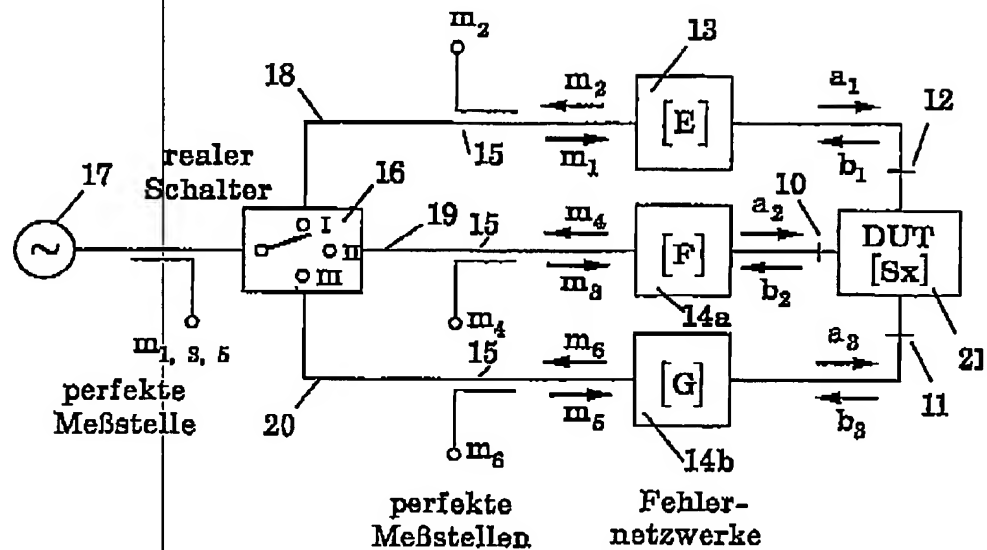


Bild 2: Blockschaltbild eines Netzwerkanalysators mit vier Meßstellen zur Vermessung von Dreitoren unter Verwendung des Mehrformmodells

ZEICHNUNGEN SEITE 2

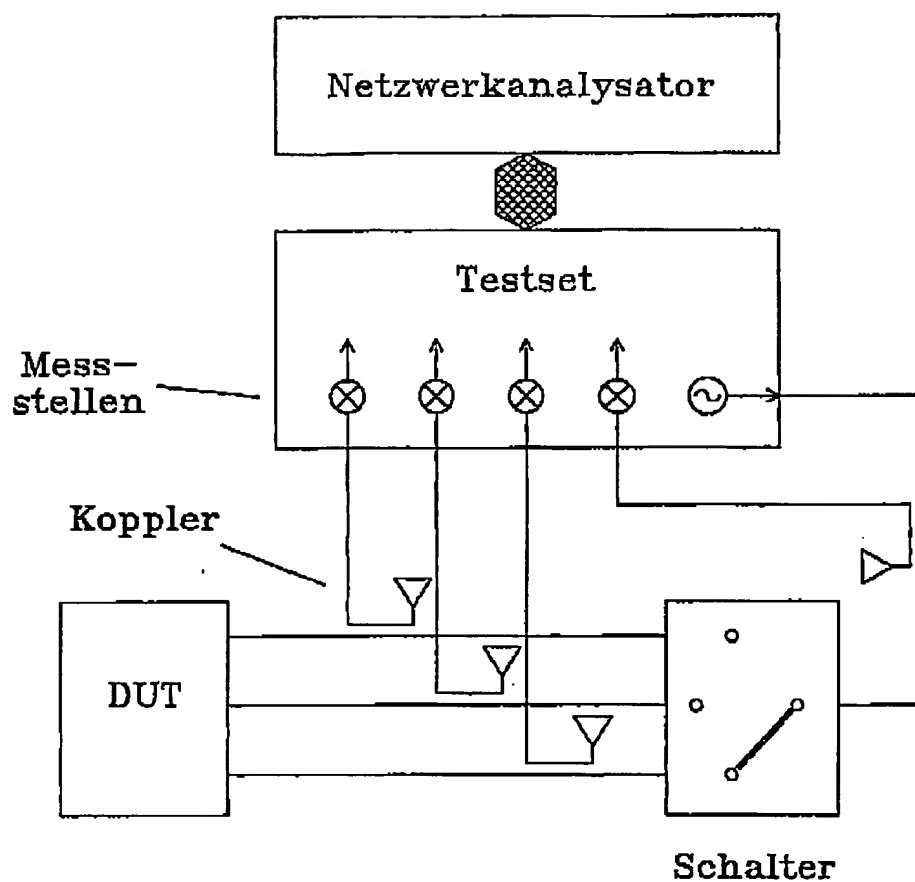
Nummer:
Int. Cl. 5:
Offenlegungstag:DE 199 18 697 A1
G 01 R 35/00
18. November 1999

Bild 3: Realisierung eines Meßplatzes mit einem Netzwerkanalysators, der vier Meßstellen aufweist, zur Vermessung von Dreitoren unter Verwendung des Mehrtormodells

ZEICHNUNGEN SEITE 3

Nummer:

DE 199 18 697 A1

Int. Cl.⁸:

G 01 R 35/00

Offenlegungstag:

18. November 1999

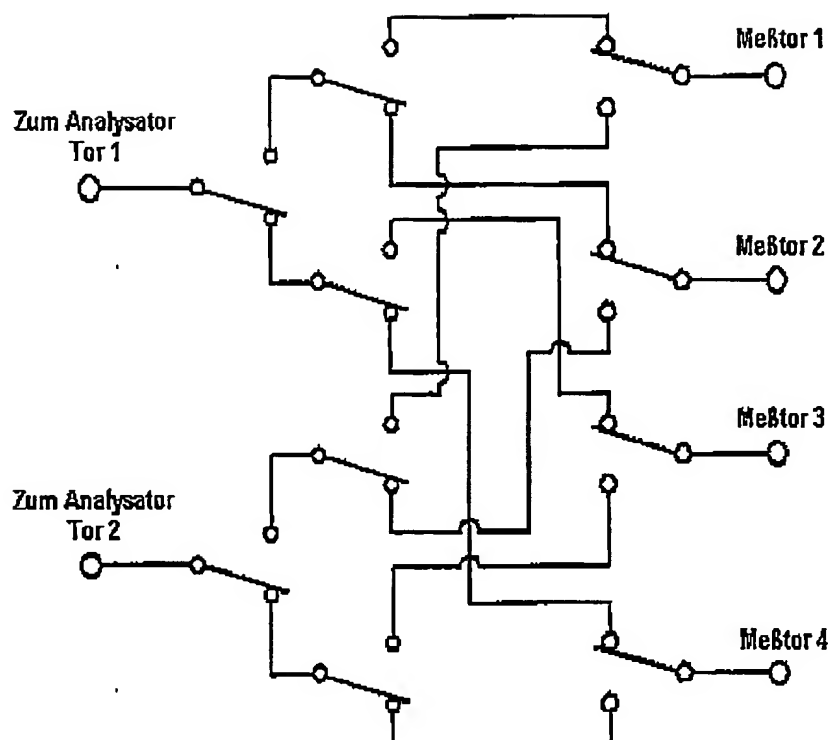


Bild 4: Umschaltvorrichtung

902 046/696

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.